

# PENGUJIAN TINGKAT KELEMBABAN LEMBARAN KERTAS SETELAH MELALUI TAHAP PENGERINGAN

Era Budi Prayekti<sup>1\*</sup>, Anggun Amalia<sup>1</sup>, Iin Afriyanti<sup>1</sup>, Tresno Santoso<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang

<sup>2</sup>Departemen *Electric and Automation*, PT. MI, Mojokerto

**Abstrak:** Proses pembuatan kertas terbagi menjadi dua bagian utama yaitu *Stock Preparation* dan *Paper Machine*. Pada bagian *Paper Machine* terjadi berbagai proses fisika yang akan mempengaruhi kualitas kertas hasil produksi. Salah satu proses pada paper machine yang berkaitan dengan temperatur adalah tahap pengeringan (*dryer section*). Pada tahap pengering lembaran kertas akan mendapatkan perlakuan perbedaan temperatur. Proses pengeringan terjadi dengan cara menaikkan temperatur secara bertahap sampai mencapai temperatur maksimal kemudian diikuti kembali dengan penurunan temperatur. Temperatur awal pada tahap pengering sebesar 73°C, selanjutnya dinaikkan sampai 109°C, kemudian diturunkan lagi menjadi 82°C. Temperatur tahap pengeringan dapat mempengaruhi kualitas kertas. Proses pada tahap pengeringan dapat mempengaruhi ikatan antar serat, yakni ikatan hidrogen yang menyebabkan kekuatan jaringan meningkat. Parameter pengujian kualitas kertas yang berkaitan dengan temperatur pada tahap pengeringan adalah kelembaban kertas. Lembaran kertas yang melewati bagian pengering akan memiliki kelembaban antara 5% - 6%.

**Kata Kunci:** parameter kualitas kertas; kelembaban kertas; temperatur tahap pengeringan

## PENDAHULUAN

Konsumsi kertas di negara Indonesia tiap tahun cenderung meningkat. Pada umumnya masyarakat lebih menyukai menggunakan kertas daripada plastik atau logam yang lain untuk berbagai keperluan sehari-hari. Penggunaan kertas ini berkaitan dengan tingkat kemudahan mendapatkan kertas, biaya yang lebih murah serta kemudahan dalam menggunakannya. Berbagai kemasan produk masih banyak menggunakan kertas, antara lain produk makanan, obat-obatan, produk rumah tangga, dan lain sebagainya sehingga masih memicu berkembangnya industri kertas di Indonesia (Antara News, 2015)

Kemasan kertas memiliki kelemahan diantaranya kertas sensitif terhadap air serta mudah dipengaruhi keadaan kelembaban lingkungan. Sifat-sifat kemasan kertas sangat tergantung pada proses pembuatan serta perlakuan tambahan pada proses pembuatannya. Proses pembuatan kertas terbagi menjadi dua bagian utama yaitu *Stock Preparation* dan *Paper Machine*. Pada bagian *Paper Machine* ini terjadi berbagai proses fisika yang akan mempengaruhi kualitas kertas hasil produksi. Tahapan yang terdapat pada *Paper Machine* yaitu *Sheet forming*, *Press section*, *Dryer section*, *Size press* dan *Pop Reel*. Pada tahap *Dryer section* terjadi proses pengeringan yang dapat mempengaruhi ikatan antar serat, yakni ikatan hidrogen yang menyebabkan kekuatan jaringan meningkat. Jika suhu terlalu tinggi, maka serat-serat pada permukaan lembaran akan mengering dan melekat pada permukaan *dryer*,

---

e-mail : era.budi.fmipa@um.ac.id

sehingga kertas menjadi rusak (ATPK, 2010). Bagian pengeringan (*drying section*) pada *paper machine* merupakan bagian yang penting. Penggunaan metode yang tepat pada bagian pengeringan ini dapat mengurangi tekanan antara jaringan dengan permukaan silinder. Perubahan tekanan pada pengeringan ini akan mempengaruhi besarnya temperatur (Eskelinen et al., 1981)

Temperatur *drying* dapat mempengaruhi kualitas kertas, khususnya besaran optiknya. Ketika temperatur *drying* meningkat, diperoleh penurunan koefisien hamburan cahaya, penurunan koefisien ini sebanding dengan peningkatan kuat tekan dan meningkatkan kekuatan ikatan antar atom pada substrat kertas (Poirier N.A., & Pikulik, I.I., 1997)

Pemodelan pada *dryer section* digunakan untuk menggambarkan proses pengeringan kertas serta menganalisis kondisi *dryer* dengan banyak silinder pada industri kertas dan kayu di Mazandaran, Iran. Mesin kertas di Mazandaran, Iran ini memiliki 35 silinder grup yang terbagi dalam 3 *drying* grup serta keseluruhan silinder dipanaskan dari *steam* di dalamnya. (Ghodbanan, S., Alizadeh, R., & Shafiei, S., 2015).

Kondisi udara *drying* juga mempengaruhi distribusi bahan dan kualitas kertas. Total udara *drying* dapat digunakan untuk pengeringan kertas jika temperatur udara dan kelembaban diatur. Pada penentuan kualitas kertas pengaturan temperatur pada bagian *dryer* lebih penting daripada laju evaporasinya (Rajala, P., Häkkänen, H., Berg, C.G., Solin, R., 2003)

Kertas memiliki beberapa jenis antara lain kertas liner dan kertas medium. Kertas *liner* adalah kertas yang digunakan sebagai penyekat dan pelapis pada karton bergelombang dan memiliki gramatur (*basis weight*) sekitar 125; 150; 200 dan 300 g/m<sup>2</sup>. Kertas medium adalah kertas yang digunakan sebagai lapisan bergelombang pada karton gelombang. Kertas medium memiliki gramatur sekitar 112; 125; 140; 150 dan 160 g/m<sup>2</sup> (Masriani, R., 2007).

Pengukuran besaran uji spesifikasi kualitas kertas di keadaan kering dapat dilihat dari berbagai parameter antara lain *brightness*, *moisture content*, *basis weight*, *thickness* and *sheet density*, *bursting strength*, *extractive* (Levlin, J.E. & Soderhjelm, L., 1999)

*Moisture* adalah kandungan air di dalam lembaran kertas, yang bergantung pada suhu dan kelembaban udara relatif di sekitar kertas. Dalam tempat terbuka, lembaran kertas akan menyerap (*absorb*) atau diserap (*desorp*) *moisture* nya sehingga mencapai titik kesetimbangan (*equilibrium*). Jika *moisture* tinggi maka kertas menjadi lembab sehingga kuat tekan kertas berkurang yang menyebabkan sulitnya proses pencetakan (Casey, J.P., 1981)

Pada proses pembuatan kertas, setelah tahap pengepresan, lembaran kertas memasuki tahap pengeringan (*dryer section*). prinsip kerja dari proses pengeringan adalah melalui pemanasan secara konduksi pada silinder yang dialiri oleh *steam*. Lembaran kertas bergerak dari baris atas dan baris bawah sedemikian rupa sehingga kedua sisi lembaran kertas menyentuh permukaan dari *dryer*. Setelah melewati *dryer part*, lembaran kertas diharapkan mempunyai kandungan air (*moisture*) sekitar 6 - 7%. Proses pengeringan terjadi dengan cara menaikkan temperatur secara bertahap sampai mencapai temperatur maksimal kemudian diikuti kembali dengan penurunan temperatur. Suhu pengeringan pertama sebesar 60°C, selanjutnya pada pemanasan kedua sebesar 80 °C, kemudian mencapai suhu maksimum 120 °C. Pada proses pengeringan terakhir suhu *dryer* cukup rendah, yaitu sebesar 65°F sampai maksimum 266°F (ATPK, 2010)

## METODE PENELITIAN

Pengambilan data dilakukan di laboratorium dan area mesin kertas PT. MI, Mojokerto. Proses produksi kertas dimulai dari bagian persiapan bahan (*Stock Preparation*) kemudian dilanjutkan ke bagian mesin kertas (*Paper Machine*). *Stock Preparation* merupakan tahapan proses pengolahan bahan baku menjadi buburan kertas. Tahap persiapan bahan ini meliputi proses *pulper*, *cleaning*, *screening*, *fractionator*, *palmac cleaner*, *refining*, dan *mixing*. Pada tahap mesin kertas buburan kertas diubah menjadi lembaran kertas melalui beberapa proses antara lain *headbox*, *wire*, *press part*, dan yang terakhir adalah *dryer section*.

Pada tahap *dryer section* ini akan diambil data suhu *dryer*. Prinsip kerja *Dryer section* yaitu suatu proses pengeringan yang melalui pemanasan secara konduksi pada silinder yang dialiri oleh *steam*. *Steam* dialirkan dari *boiler* ke silinder *dryer* dengan besar tekanan tertentu. Berdasarkan besar tekanan steam tersebut, maka dapat ditentukan temperatur *steam* yang berada di dalam silinder *dryer*. Di dalam silinder terjadi proses kondensasi sehingga menghasilkan kondensat dengan volume lebih sedikit dibandingkan *steam*. Proses tersebut dinamakan dengan distribusi steam.

Lembaran kertas bergerak dari baris atas dan baris bawah sedemikian rupa sehingga kedua sisi lembaran kertas mengenai permukaan silinder *dryer*. Namun, lembaran kertas tidak mengenai seluruh permukaan silinder, sehingga diperoleh perhitungan luas kertas yang mengenai permukaan *silinder dryer*. Silinder *dryer* berdiameter 1500 mm dengan lebar 3900

mm, disusun dua baris berjumlah 44 roll yang terdiri dari 1-6 grup, ditempatkan dalam sebuah box yang berguna untuk meningkatkan efisiensi panas dari *dryer*.

Data temperatur didapatkan dengan cara mengukur suhu kertas setiap silinder *dryer* menggunakan termometer infrared. Prinsip kerja termometer infrared ini menggunakan metode pengukuran radiasi energi sinar infra merah, untuk kemudian digambarkan dalam bentuk suhu.

Data kelembaban kertas diperoleh dari kandungan *moisture* kertas di setiap roll. Pengujian *moisture content test* menggunakan persamaan:

$$M = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

$M$  = *Moisture* (%)

$m_1$  = Berat awal kertas (N)

$m_2$  = Berat kertas setelah dioven selama 1 jam (N)

Pengambilan data temperatur dan kelembaban dilakukan pada jenis kertas liner yang bahan bakunya berasal dari impor maupun bahan baku lokal.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Lembaran kertas yang melewati silinder *dryer* bergerak dari baris atas ke baris bawah. Silinder *dryer* berjumlah 44 roll dan terdiri atas 1-6 grup. Grup 1 terdiri atas 7 roll, grup 2 terdiri atas 8 roll, grup 3 terdiri atas 8 roll, grup 4 terdiri 8 roll, grup 5 terdiri atas 8 roll, dan grup 6 terdiri atas 8 roll. Lembaran kertas yang melewati masing-masing silinder *dryer* akan memiliki luas yang berbeda-beda. Data luasan lembaran kertas yang melewati masing-masing grup disajikan pada tabel 1 berikut ini

Tabel 1. Luas permukaan kertas pada silinder *dryer*

No	Silinder Dryer ( <i>dryer group</i> )	Luas (m <sup>2</sup> )
1	Roll grup 1	40,46
2	Roll grup 2	86,61
3	Roll grup 3	86,61
4	Roll grup 4	85,27
5	Roll grup 5	86,61
6	Roll grup 6	85,27

Dari tabel 1 tersebut roll grup 2 sampai grup 6 memiliki nilai luasan yang hampir sama. Roll grup 1 luasannya paling kecil karena diantara 7 roll yang ada di grup 1, terdapat 3 roll vacuum, sehingga hanya 4 roll yang mengalami pemanasan steam.

Temperatur lembaran kertas didapatkan dengan cara mengukur suhu kertas yang melewati setiap silinder *dryer* dengan menggunakan termometer infrared. Data temperatur lembaran kertas pada masing-masing silinder *dryer* jika melalui proses *size press* disajikan pada tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Temperatur permukaan kertas yang melewati silinder *dryer*

No	Silinder Dryer ( <i>dryer group</i> )	Temperatur (°C)
1	Roll grup 1	78,250
2	Roll grup 2	100,250
3	Roll grup 3	103,000
4	Roll grup 4	104,875
5	Roll grup 5	93,500
6	Roll grup 6	102,875

Hasil pengukuran temperatur lembaran kertas pada setiap *dryer group* diperoleh nilai yang berbeda-beda. Terlihat pada tabel 2 bahwa pada roll grup pertama temperatur awal adalah yang paling rendah. Selanjutnya roll grup kedua sampai grup keempat temperatur akan naik, kemudian pada roll grup kelima temperatur akan turun dan pada roll grup keenam temperatur akan naik kembali. Perbedaan temperatur pada lembaran kertas ini merupakan akibat pengaruh perbedaan temperatur *steam* pada setiap silinder *dryer*. Pengaturan temperatur pada *dryer* sesuai dengan teori bahwa proses pengeringan terjadi dengan cara menaikkan temperatur secara bertahap sampai mencapai temperatur maksimal kemudian diikuti kembali dengan penurunan temperatur.

Temperatur pada *dryer* bergantung pada pengaturan temperatur *steam*. Prinsip kerja tahap *dryer* yaitu proses pengeringan melalui pemanasan secara konduksi pada silinder yang dialiri oleh steam. Steam dialirkan dari boiler ke silinder *dryer* dengan besar tekanan tertentu. Berdasarkan besar tekanan steam tersebut, maka dapat ditentukan temperatur steam yang berada di dalam silinder *dryer*. Data tekanan pada masing-masing grup *dryer* disajikan pada tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Tekanan steam pada masing-masing *dryer group*

No	Silinder Dryer ( <i>dryer group</i> )	Tekanan steam (bar)
1	Roll grup 1	1,56
2	Roll grup 2	2,13

No	Silinder Dryer ( <i>dryer group</i> )	Tekanan steam (bar)
3	Roll grup 3	2,26
4	Roll grup 4	2,50
5	Roll grup 5	3,02
6	Roll grup 6	3,52

Konversi tekanan menjadi temperatur pada steam dapat dihitung menggunakan persamaan 2 berikut

$$\log_{10} P = A + \frac{B}{T} + \frac{Cx}{T} (10^{Dz^2} - 1) + E (10^{Fy^{5/4}}) \quad (2)$$

(Osborne, et.al, 1934)

Keterangan:

$P$  = Saturasi tekanan (atm)

$P$  = Saturasi temperatur (°C)

$T = t + 273,16$

$x = T^2 - K$

$y = 374,11 - t$

Nilai Parameter/konstanta:

$A = +5,4266514$

$B = -2005,1$

$C = +1,3869 \cdot 10^{-4}$

$D = +1,1965 \cdot 10^{-11}$

$K = +293,700$

$E = -0,0044$

$F = -0,0057148$

Dengan menggunakan persamaan 2 di atas akan diperoleh nilai konversi tekanan menjadi temperatur. Data konversi temperatur pada masing-masing grup *dryer* disajikan pada tabel 4 berikut ini.

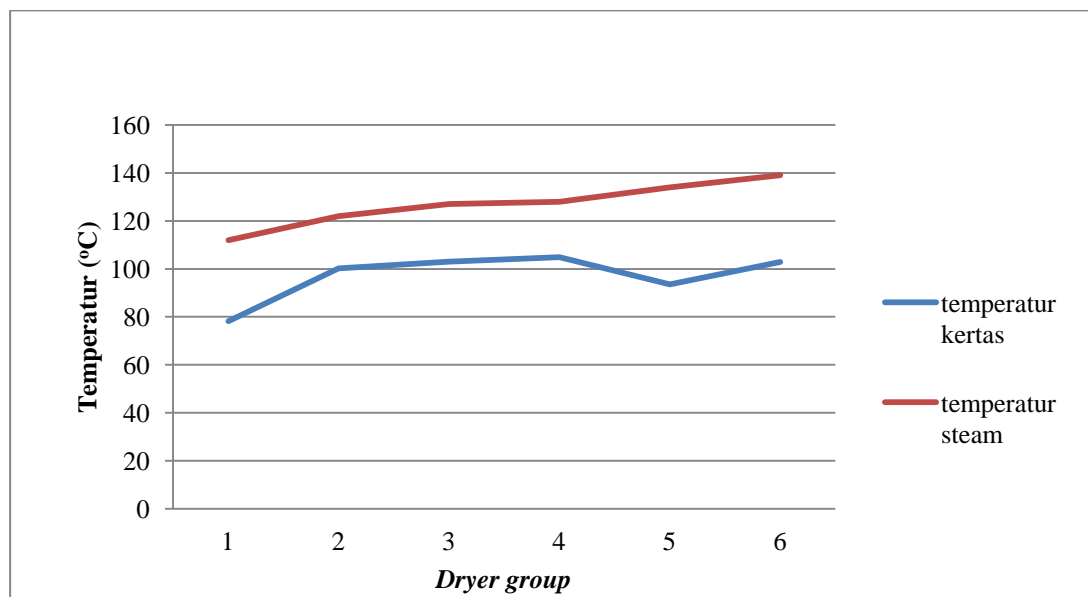
Tabel 4. Temperatur steam pada masing-masing *dryer group*

No	Silinder Dryer ( <i>dryer group</i> )	Temperatur steam (°C)
1	Roll grup 1	112
2	Roll grup 2	122
3	Roll grup 3	127
4	Roll grup 4	128
5	Roll grup 5	134
6	Roll grup 6	139

Berdasarkan tabel 3 dan tabel 4 di atas terlihat bahwa dengan adanya kenaikan tekanan steam akan diperoleh temperatur steam yang naik pula sesuai persamaan 2.

Pada tabel 4 diketahui bahwa temperatur steam pada roll grup pertama sebesar 112 °C dan temperatur tertinggi sebesar 139 °C diberikan pada roll grup terakhir. Temperatur ini masih berada pada rentang

Dari data temperatur yang telah diperoleh yaitu tabel 1 serta tabel 4 dapat dibuat perbandingan perolehan data temperatur pada masing-masing *dryer group* untuk temperatur kertas maupun temperatur steam seperti grafik 1 berikut



Grafik 1. Perbandingan temperatur pada masing-masing *dryer group*

Berdasarkan grafik 1 di atas terlihat adanya perbedaan antara temperatur kertas dan temperatur *steam*. Grafik temperatur *steam* cenderung linier, sedangkan grafik temperatur kertas terdapat kenaikan kemudian penurunan baru temperatur naik kembali pada roll keenam. Terdapat selisih besar temperatur antara temperatur lembaran kertas dan temperatur steam. Selisih ini dapat terjadi karena adanya aliran panas dari steam ke permukaan kertas yang diukur suhunya menggunakan infrared. Dalam silinder *dryer*, terdapat proses perpindahan panas dari *steam* ke permukaan silinder sehingga dapat menentukan besar temperatur kertas. Energi perpindahan panas tersebut dapat diketahui dari perhitungan nilai koefisien perpindahan panas total ( $U$ ) dikalikan luas permukaan kertas. Laju perpindahan panas secara konduksi sebanding dengan konduktifitas termal bahan  $k$ , silinder dryer ini terbuat dari besi cor (*cast iron*) dengan konduktifitas termal sebesar 24,3W/m.K. Koefisien perpindahan panas bergantung pada sifat fisika zat cair dan keadaan alirannya. Pada

pengeringan kertas, perpindahan panas secara konveksi terjadi pada permukaan antara steam dan kondensat dalam silinder, dan antara kertas dengan udara luar silinder (Ghosh, 2011).

Temperatur pada bagian pengeringan (*dryer section*) berpengaruh terhadap kualitas lembaran kertas. Salah satu parameter kualitas kertas yang berkaitan erat dengan temperatur adalah tingkat kelembaban kertas. Pengukuran kelembaban kertas dengan menggunakan persamaa 1. Data kelembaban kertas pada masing-masing *dryer group* disajikan pada tabel 5 berikut ini.

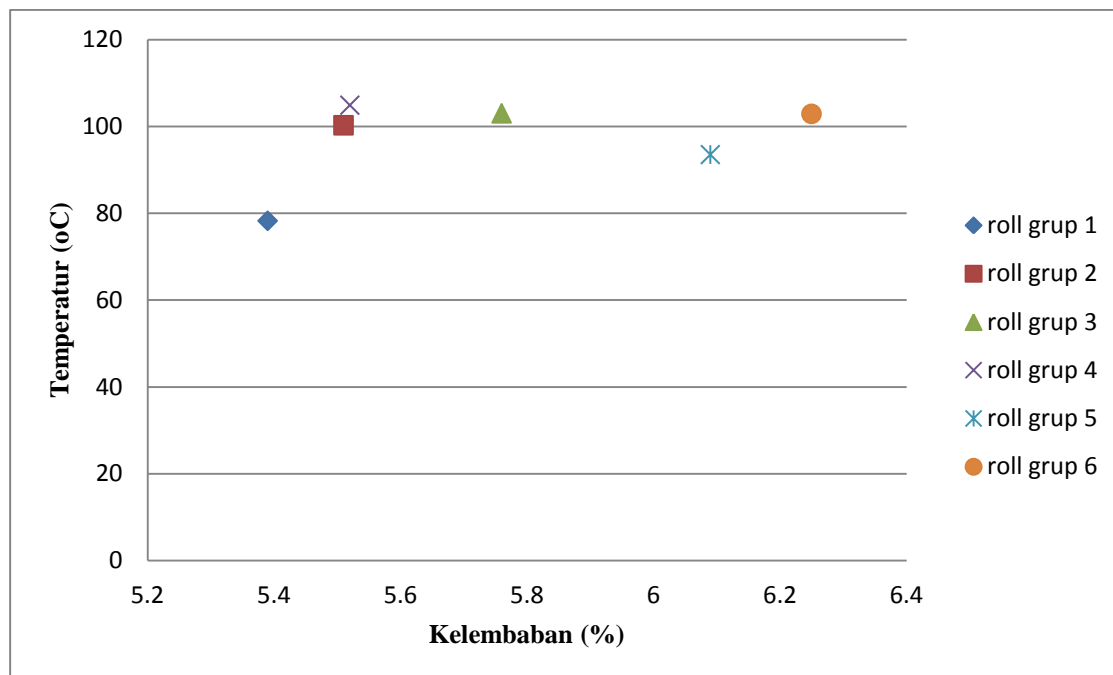
Tabel 5. Kelembaban kertas keluaran dari masing-masing *dryer group*

No	Silinder Dryer ( <i>dryer group</i> )	Kelembaban (%)
1	Roll grup 1	5,39
2	Roll grup 2	5,51
3	Roll grup 3	5,76
4	Roll grup 4	5,52
5	Roll grup 5	6,09
6	Roll grup 6	6,25

Dari tabel 5 terlihat bahwa kelembaban kertas berkisar antara 5,52% sampai dengan 6,25%. Sifat produk akhir kertas sangat dipengaruhi oleh kondisi web (jaringan) dalam *dryer section*, salah satunya adalah *moisture content*. Jika kekeringan web (jaringan) dibawah batas, maka modulus elastisitasnya lebih tinggi, kekuatan tariknya lebih tinggi, dan stabilitas dimensinya lebih baik. Sedangkan, jika *moisture*nya tinggi maka kertas menjadi lembab sehingga kuat tekan kertas berkurang.

Berdasarkan data tabel 2 tentang temperatur kertas dan tabel 5 tentang kelembaban kertas, dapat dibuat grafik seperti berikut





Grafik 2. Temperatur dan kelembaban kertas

Dari grafik 2 diatas dapat terlihat bahwa ketika temperatur kertas naik pada roll pertama, kedua, ketiga dan keempat maka kelembaban kertas berkisar antara 5%. Mulai roll kelima ketika terjadi penurunan temperatur, kelembaban kertas mengalami kenaikan. Kenaikan nilai kelembaban ini disebabkan karena pada terdapat proses penambahan kanji menggunakan *nozzle*, sehingga lembaran kertas menjadi lembab lagi. Pada roll kelima dan keenam, yaitu ketika kelembaban meningkat diimbangi dengan kenaikan temperatur. Terlihat pula dari tabel 4 tentang temperatur steam dinaikkan terus hingga mencapai suhu 139°C. Kenaikan suhu steam akan berpengaruh pada temperatur kertas dan kelembaban kertas, sehingga kelembaban kertas masih dapat terjaga sesuai standart mutu kertas hasil industri.

## SIMPULAN

Proses pembuatan kertas terbagi menjadi dua bagian utama yaitu *Stock Preparation* dan *Paper Machine*. Pada bagian *Paper Machine* ini terjadi berbagai proses fisika yang akan mempengaruhi kualitas kertas hasil produksi salah satunya tahap pengeringan (*Dryer section*). Salah satu besaran pengujian kualitas kertas adalah kelembaban. Temperatur pada tahap pengeringan sangat mempengaruhi kelembaban kertas. Jika temperatur pengeringan masih dibawah 140°C, maka kelembaban kertas berada pada rentang standar uji kualitas kertas yaitu antara 6%-9%.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada PT. MI Mojokerto yang telah memberikan kesempatan untuk praktikum di Laboratorium QC, Departemen *Electric And Automation*.

## DAFTAR PUSTAKA

ATPK. 2010. *Diktat Kuliah ATPK*. Bandung: ATPK Press.

Casey, J.P. (1981). *Pulp and Paper: Chemistry and Chemical Technology*, Vol 1 dan III, edisi 3. New York: John Wiley&sons.

Eskelinen et al. (1981). *United States Patent, Method And Apparatus For The Drying Section Of A Paper Machine*. Patent Number: 4,516,330. Valmet Oy, Finland.

Ghodbanan, S., Alizadeh, R., & Shafiei, S., (2015). Steady-State Modeling of Multi-Cylinder Dryers in a Corrugating Paper Machine. *Drying Technology: An International Journal* Volume 33, Issue 12, 2015. DOI:10.1080/07373937.2015.1020161 pages 1474-1490

Ghosh, Ajit K. *Fundamentals of Paper Drying-Theory and Application from Industrial Perspective*.(Online), ([www.intechopen.com](http://www.intechopen.com)), diakses 9 Juni 2015

Levlin, J.E., Soderhjelm, L. (1999) Book 17: Pulp and paper testing. Helsinki [etc.] : Fapet Oy [etc.]

Masriani, R., 2007. *Penelitian Dampak Substitusi Kertas Liner oleh Kertas Medium pada Karton Gelombang*. Bandung: BBPK

Osborne, N. S & Meyers, C. H. 1934. A Formula And Tables For The Pressure Of Saturated Water Vapor In The Range 0 To 374 C. *Part of Journal of Research of the Rational Bureau of Standards*, 13 (691): 1-21

Pasi, R, HeikkiHäkkinen, Carl-Gustav, B&Richard, S. The Effect of Intense Air Drying on Material Distribution and Quality in Coated Papers. *Drying Technology: An International Journal* Volume 21, Issue 10, 2003. DOI:10.1081/DRT-120026426. pages 1941-1956. Published online: 17 Dec 2010

Poirier, N.A & Pikulik, I.I. (1997). The effect of drying temperature on the quality of paper. *Drying Technology: An International Journal* Volume 15, Issue 6-8, 1997. DOI:10.1080/07373939708917333. pages 1869-1879 Published online: 27 Apr 2007

Robertson & Gordon, L. 2005. *Food Packaging-Principle and Practice* (edisi 2.), p111, ISBN 978 – 0849337758